华北二点委夜蛾种群动态监测及北京北部地区虫源性质分析

张 智[1,3], 张云慧[1], 姜玉英[2], 谢爱婷[3], 魏书军[4], 程登发[1,*]
蒋金炜[5], 张方梅[1], 彭 赫[1]

(1. 中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100193;
2. 全国农业技术推广服务中心, 北京 100125; 3. 北京市植物保护站, 北京 100029;
4. 北京市农林科学院植物保护环境保护研究所, 北京 100197; 5. 河南农业大学植物保护学院, 郑州 450002)

摘要: 二点委夜蛾 *Proxenus lepigone* 是玉米生产中的一种新发害虫, 2011 年曾在黄淮海夏玉米主产区全面暴发, 对夏玉米生产构成严重威胁。为了明确二点委夜蛾的种群动态, 探讨北京北部二点委夜蛾种群是否为迁入虫源, 2012 年, 在华北地区的河北省栾城县、北京市区和北京延庆县等地, 利用高空探照灯诱虫器、垂直监测昆虫雷达等对二点委夜蛾成虫进行了监测, 并结合气象资料, 对北京延庆的虫源性质进行了综合分析。结果表明: 二点委夜蛾老熟幼虫作茧后可在北京延庆越冬。2012 年, 北京延庆诱集二点委夜蛾累计 33 951 头, 可划分为 3 个世代。第 1 代成虫的诱集数量不符合正态分布, 且在姊妹灯下的数量差异符合迁飞种类的特点。在当地条件不适宜的情况下, 北京延庆监测点第 1 代成虫日均诱虫数量高于条件相对适宜的河北栾城。在北京延庆, 第 1 代成虫的逐日诱集数量与空中风向密切相关。雷达监测还表明二点委夜蛾可能是雷达回波的目标。综合以上证据表明, 北京延庆第 1 代成虫包含从周边迁飞而来的个体, 二点委夜蛾可能是一种兼性迁飞昆虫。本研究可为二点委夜蛾成虫能否远距离迁飞提供例证, 对今后提高其预测预报和防治水平具有重要意义。

关键词: 二点委夜蛾; 高空探照灯诱虫器; 迁飞; 监测预警; 轨迹分析; 虫源; 华北
中图分类号: Q968 **文献标识码**: A **文章编号**: 0454-6296(2013)10-1189-14

Monitoring of the population dynamics of *Proxenus lepigone* (Lepidoptera: Noctuidae) in North China and analysis of the source of its populations in northern Beijing

ZHANG Zhi[1,3], ZHANG Yun-Hui[1], JIANG Yu-Ying[2], XIE Ai-Ting[3], WEI Shu-Jun[4], CHENG Deng-Fa[1,*], JIANG Jin-Wei[5], ZHANG Fang-Mei[1], PENG He[1] (1. State Key Laboratory for Biology of Plant Disease and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 2. National Agro-Technical Extension and Service Centre, Beijing 100125, China; 3. Beijing Plant Protection Station, Beijing 100029, China; 4. Institute of Plant and Environment Protection, Beijing Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Beijing 100197, China; 5. College of Plant Protection, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: The *Proxenus lepigone*, a new pest insect of maize production in China, suddenly outbroke in the Huang-Huai-Hai plain in 2011, which threatened the production of summer maize. In order to know the population dynamics of *P. lepigone* to ascertain whether this species could migrate or not, monitoring on *P. lepigone* moths was respectively carried out in Luancheng, Hebei province, and the urban and Yanqing county of Beijing with searchlight traps and vertical-looking insect monitoring radar. The properties of their source were determined by combining the population sizes with the meteorological data. From this study, we clarified that the mature larvae with cocoon could overwinter in Yanqing, Beijing. During the monitoring season in 2012, the trapped moths summed up to 33 951, which included 3 generations. Population size of the 1st generation did not meet the normal distribution, and differences of catch sizes in sister-light traps suggested that *P. lepigone* is a migratory species. The environment was not

基金项目: 公益性行业科研专项经费(201003025, 2010030791); 北京市农业局科技项目(PXM2013_036203_000010)
作者简介: 张智, 男, 1980 年生, 河南沈丘人, 博士研究生, 研究方向为病虫害监测预警及防治决策, E-mail: zhangzhicas@126.com
* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: dfcheng@ippcaas.cn
收稿日期 Received: 2013-02-08; 接受日期 Accepted: 2013-09-03

suitable for *P. lepigone* in Yanqing, Beijing, but the average trapped catch size was higher than that of Luancheng, Hebei. Furthermore, the catch sizes were considered to be related to the direction of airflow and *P. lepigone* moths could be the targets of echoes of radar. These evidences approve that the trapped moths of the 1st generation must include the individuals migrating from surrounding regions and this species is supposed to be a facultative migratory species. This study provides some migration events for the future study of this species, which would benefit the related forecasting and integrated control.
Key words: *Proxenus lepigone*; searchlight trap; migration behavior; monitoring and forecasting; trajectory analysis; population source; North China

二点委夜蛾 *Proxenus lepigone* (Moschler)隶属鳞翅目夜蛾科委夜蛾属，是中国玉米生产中的一种新发害虫。幼虫咬食茎基部或根部，严重时造成植株枯心死亡或倒伏（单绪南等，2011；王振营等，2012）。虽然二点委夜蛾也分布于欧洲 19 个国家和亚洲的日本、朝鲜、蒙古和俄罗斯等国，但目前除中国以外，其他国家均未报道该虫可对当地农作物造成危害（江幸福等，2011a）。2005 年，我国首次在河北省发现二点委夜蛾可危害夏玉米苗，当年发生区仅有安新、曲周、正定、藁城、栾城和饶阳等 6 个县（姜京宇和席建英，2006；姜京宇等，2011c）。此后，该害虫连年发生。2011 年，在黄淮海夏播玉米区的河北、山东、河南、安徽、江苏、山西和北京等 7 省(市)全面暴发，发生面积近 220 万 hm^2(单绪南等，2011；王振营等，2012)。二点委夜蛾的暴发成灾，严重影响了玉米精量播种技术的推广与应用，对夏玉米生产构成了严重威胁。自首次发现二点委夜蛾可危害夏玉米苗以后，植保工作者围绕二点委夜蛾的发生规律、生物学习性、测报技术及其防治措施等及时开展了一系列研究（江幸福等，2011a，2011b；姜京宇等，2011a，2011b，2011c，2011d；马继芳等，2011a；姜玉英等，2011；单绪南等，2011；王振营等，2012；柴同海等，2012）。由于二点委夜蛾是一种新发害虫，除近几年获得的研究成果外，国内外积累的研究资料比较薄弱，仍然需要对二点委夜蛾的发生规律和生物学习性开展深入研究，提高预测预报的准确性，为二点委夜蛾的综合防治提供决策依据(姜玉英等，2011；单绪南等，2011；王振营等，2012)。

害虫迁飞可致使其在不同地区间蔓延为害甚至暴发成灾，探索二点委夜蛾虫源性质，摸清各发生区虫源之间的关系，对进一步掌握其发生为害规律至关重要。目前，还没有确切证据表明二点委夜蛾可远距离迁飞。石洁等(2011)在河北和山东等地调查发现了大量的越冬老熟幼虫，认为二点委夜蛾主要为当地虫源，远距离迁飞的可能性不大。姜京宇等(2011b)和马继芳等(2012)在河北省连续多年开展成虫监测中发现各代成虫呈正态分布，未出现突增突减，他们也认为二点委夜蛾无远距离大范围迁飞的习性。已有的研究结果中，除上述否定二点委夜蛾具有迁飞习性的证据之外，也存在一些支持其可能迁飞的现象。首先，成虫发生量与幼虫发生量不匹配，7 月上旬成虫诱集量明显高于 6 月，但是田间幼虫量却非常低，这或许是一些个体迁出所引起(姜京宇等，2011d；李立涛等，2012)。其次，室内吊飞实验表明，二点委夜蛾具有很强的飞行能力，该虫的快速蔓延危害可能与其迁飞(扩散)行为有关(江幸福等，2011a)。第三，线粒体 COI 基因序列分析表明，不同地理种群间的基因流水平较高，群体间可能通过扩散或迁飞使基因发生交流(朱彦彬等，2012)。这些现象表明二点委夜蛾可能具有迁飞习性。

明确二点委夜蛾能否远距离迁飞，会促进对其发生规律的认知，进一步提升其预测预报和综合防治水平，因此，二点委夜蛾成虫能否远距离迁飞是亟待研究的问题之一(江幸福等，2011a；姜玉英等，2011；姜京宇等，2011d)。2011 年二点委夜蛾在全国大面积暴发以后，本研究团队在北京延庆、吉林公主岭和内蒙古锡林浩特等迁飞性昆虫监测点，随即将二点委夜蛾列为重点监测对象，但 2011 年各监测点都没有确切地记录到二点委夜蛾成虫。2012 年 5 月，设置在北京市区内和郊区延庆县的高空探照灯诱虫器相继诱集到了二点委夜蛾成虫，为了扩大监测范围，我们随后在河北省栾城县也设置了高空探照灯诱虫器，在上述监测点对二点委夜蛾成虫种群动态开展了系统监测。本文总结了 2012 年对华北京津冀一带二点委夜蛾的系统监测结果，结合当地气象资料、空中风场、垂直监测昆虫雷达数据等，重点对北京延庆地区二点委夜蛾虫源性质进行了初步探讨。本研究可为二点委夜蛾成虫能否

远距离迁飞提供一些例证，对今后提高其预测预报和防治水平具有重要意义。

1　材料与方法

1.1　监测地点与时间

二点委夜蛾成虫监测点 3 处，分别位于北京市北郊、北京市延庆县和河北省栾城县。

北京市北郊监测点（以下简称北郊监测点）设置在中国农业科学院植物保护研究所（N40°1′，E116°17′）主楼楼顶，距离地面约 45 m。监测点南面和东面是市区，向西与百望山相距约 2 km，向北约 3 km 以外有小面积的农田和果园。该监测点从 2012 年 4 月 18 日开始，2012 年 10 月 11 日结束。

北京市延庆监测点位于北京市延庆县有机蔬菜研究所（N40°31′，E116°5′）。延庆县整体地形属于盆地，四周是山地，中间是平原。监测点所在地的海拔约为 486 m，地势平坦，周围大面积农田主要种植春玉米和蔬菜。延庆耕作制度为一年一熟，以春播玉米为主，面积约 2.1 万 hm^2，播种期是每年 4 月下旬至 5 月上旬，玉米收获后大部分田块冬前翻耕，翌年再种玉米。该点监测工作从 2012 年 5 月 3 日开始，结束时间是 2012 年 10 月 2 日。

河北省栾城县的监测点位于中国科学院河北省栾城农业生态系统试验站院内（N37°53′，E114°41′），院外四周为大面积农田。河北栾城平均海拔 50.1 m，属暖温带半湿润季风气候，土壤类型以潮褐土为主，代表华北平原北部典型潮褐土高产农业生态类型。河北栾城的耕作制度为一年两熟，属小麦-玉米连作区，冬小麦收获后，直接于 6 月中下旬播种玉米，9 月底或 10 月初收获，土地翻耕以后，播种冬小麦。该监测点从 2012 年 5 月 1 日开始，至 2012 年 9 月 5 日结束。

1.2　成虫诱捕器

根据二点委夜蛾成虫的趋光性（姜京宇等，2011d）和高空探照灯诱虫器在迁飞昆虫研究中的应用（Feng *et al.*, 2005；张云慧等，2007a），本研究监测空中种群时，也选择高空探照灯诱虫器。详细参数见张云慧等（2007a）。监测近地面种群时，北京延庆使用姊妹灯中的地面灯诱虫器，河北栾城使用 PS-15 佳多频振式杀虫灯，北京北郊未设置地面灯。姊妹灯的地面灯诱虫器详细参数见文献（程登发等，2005）。在高空探照灯诱虫器漏斗下面收集昆虫时，北京市北郊和河北栾城监测点使用盛有 0.5% 洗衣粉溶液的有盖塑料桶，北京市延庆监测点使用的是便于拆卸且可防止昆虫逃逸的网袋。该网袋是在参考付晓伟博士使用的同类型网袋的基础上进一步优化而来（个人交流），形如四方体，材料为尼龙纱网。网袋上表面居中开一圆孔，直径约 20 cm，内接一尼龙纱网做成的圆筒，圆筒上粗下细，呈漏斗状，此圆筒套在诱捕器漏斗下的集虫口外，可防止虫子逃脱。网袋侧面下部开一弧形口并装上拉链，用于取虫或清理杂物等。

1.3　垂直昆虫雷达

垂直昆虫雷达是获取迁飞昆虫行为参数的一种专用设备。本研究所使用的垂直昆虫雷达由北京农林科学院植物保护环境保护研究所于 2008 年组建，其参数和 2004 年 6 月中国农业科学院植物保护研究所与成都锦江电子系统公司合作组建的雷达参数相同，详细参数参见张云慧（2007b）。

1.4　气象及轨迹数据

地面气象数据从中国气象科学数据共享服务网（http://cdc. cma. gov. cn/home. do）下载。高空风场数据是从由美国国家环境预报中心（National Centers for Environmental Prediction，简称 NCEP）和美国国家大气研究中心（National Center for Atmospheric Research，简称 NCAR）网站上下载的再分析数据。

1.5　二点委夜蛾种群动态的监测

高空探照灯诱虫器通过时控开关定时开启和关闭。监测期间约每 10 d 调整一次开关时间，保证日落开启和日出关闭。高峰期间，每小时自动取样一次。高空探照灯诱虫器经防水处理后，雨天也可正常工作。白天关闭高空探照灯诱虫器以后，对诱集昆虫进行分类，记录数量。使用网袋收集的活虫，分类前先把装虫子的网袋投入盛有乙酸乙酯的密闭容器内，熏蒸处理后再分类记录。在灯光诱集期间，开启垂直昆虫雷达，自动获取回波数量与高度，同时结合地面诱虫数据，对回波目标进行判定。

1.6　北京延庆的虫源性质分析

在探讨北京延庆所诱集二点委夜蛾成虫是否为迁入种群时，我们从下述几个方面进行综合分析。

1.6.1　姊妹灯数据分析：利用姊妹灯数据判断二点委夜蛾是否属于迁飞种类。根据姊妹灯的设计原理，当高空探照灯诱虫数量与地面灯诱捕数量的比值大于 1 时，认为该种类属于迁飞种类（程登发等，2005）。

1.6.2 越冬可能性判断：如果前期虫源为本地种群，要求二点委夜蛾必须可在北京延庆越冬存活，且始见二点委夜蛾成虫的时间应满足其发育所需的有效积温。二点委夜蛾以老熟幼虫作茧越冬，低温处理后作茧老熟幼虫的过冷却点和冰点分别为 -25.35℃和 -9.98℃，而低温处理后老熟幼虫的过冷却点则为 -8.36℃（马继芳等，2011b）。根据气象资料，如果当地最低气温低于其过冷却点时，则认为其不能在此越冬，反之则认为可以越冬。二点委夜蛾蛹的发育起点温度分别为9.63℃，至成虫羽化所需的有效积温为 134.00 日·度。全世代发育起点温度是 10.04℃，所需的有效积温为 552.95 日·度(党志红等，2011)。计算有效积温时，当最低气温高于发育起点温度时，计算公式为 $K = N(T - C)$，其中 K 为实际有效积温，N 为天数，T 为当日平均温度，C 为各虫态的发育起点温度。当最低气温低于发育起点温度时，利用正弦法(公式 1，2)(肖悦岩，1983)，其中 C 为发育起点温度，T_x 为日最高气温，T_n 为日最低气温，K 为实际有效积温，根据公式(1)求出 P 值后，查表得到 h 值，按照公式(2)，算出 K 值。当实际有效积温高于所需有效积温时，认为当地可满足越冬代羽化的需要。

$$P = \frac{T_x - C}{T_x - T_n} \tag{1}$$

$$h = \frac{K}{T_x - T_n} \tag{2}$$

1.6.3 诱虫数量的正态性检验：对各代诱集数量是否符合正态分布进行检验。检验前根据有效积温划分二点委夜蛾的发生世代。计算有效积温时，产卵起始时间是诱虫当日顺延 5 d，产卵结束时间是诱虫当日顺延 10 d（江幸福等，2011b），例如 5 月 3 日诱集到的成虫，它们第一次产卵的时间假定为 5 月 8 日，结束时间为到 5 月 13 日，这批成虫后代的羽化时间应该是从 5 月 8 日到 13 日所对应的满足世代发育所需有效积温的时间段。依此方法对诱集成虫进行世代划分，对每一代成虫都进行正态性检验。

1.6.4 诱虫数量与空中风场的关系分析：大多数昆虫迁飞时需要借助风力运载(Drake and Farrow，1983，1988；Drake and Gatehouse，1995)。如果二点委夜蛾属于迁飞种类，在诱集数量较多的夜晚，空中应存在有利的运载气流。风场分析时，利用 GRADS 2.0 画出 925 hPa 风场在 115°E 上时间-纬度的剖面图，然后进行判读。

1.6.5 扑灯节律及雷达回波目标判定：对不同时段内的优势种类进行数量统计，各种昆虫诱集数量的变化规律，结合雷达回波数量随时间的变化，判断雷达回波目标是否为二点委夜蛾。

1.6.6 轨迹分析及当地虫情验证：对于可能发生二点委夜蛾迁飞的夜晚，利用 Hysplit_4.8 轨迹分析软件(http://www.arl.noaa.gov)，追溯其虫源地，并结合全国农技推广中心获得的虫情数据，验证当地虫情能否提供迁入虫源。轨迹分析时，起始时刻为当天日落后半小时，结束时间为日出时间。模型运行时最低高度设置为 450 m，最大高度为 2 000 m(张云慧等，2007a，2010)。

1.7 数据分析

数据作图时使用了 Microsoft Excel 2003，各世代成虫诱集数量的正态性检验及其他有关统计分析均使用 SPSS 13.0 for Windows 完成。无特殊说明，平均值以平均值 ± *SE* 表示。

2 结果

2.1 二点委夜蛾种群动态监测结果

2012 年，北京延庆高空探照灯诱虫器开启日期为 5 月 3 日，共运行 150 d，诱集二点委夜蛾成虫数量累计为 33 951 头，在 6 月中下旬和 7 月中下旬，分别出现了一个较大峰值，数量分别为 5 300 头和 4 825 头(图 1)。姊妹灯中的地面灯开启日期为 5 月 7 日，共运行 138 d，诱集二点委夜蛾成虫累计为 183 头，诱集数量为 0 头的天数有 92 d，单日诱集数量最高为 26 头，日期为 6 月 23 日。高空探照灯的平均诱集数量(226.34 ± 55.96 头)极显著高于地面灯(1.34 ± 0.26 头)($t = 4.02$，$df = 149.01$，$P < 0.01$)，且地面灯高峰期出现的时间比高空探照灯晚 1 ~ 2 d。受地面灯开启天数的限制，只有 138 d 的数据可供比较当日两种诱捕器诱集数量之间差异。高空探照灯诱捕数量高于地面灯的天数共有 132 d。

北京市北郊监测点的高空探照灯诱虫器于 4 月 23 日开启，持续监测 162 d，诱集二点委夜蛾成虫累计 152 头，单日诱集数量最高 13 头，日期为 6 月 16 日，诱集数量为 0 头的天数为 99 d(图 2)。

河北栾城监测点开始时间是 5 月 1 日，共监测 126 d，累计诱集 75 391 头二点委夜蛾成虫。6，7 和 8 月各出现一个明显峰值，依次为 6 月 9 日 2 855 头、7 月 19 日 7 940 头、8 月 17 日 2 316 头。地

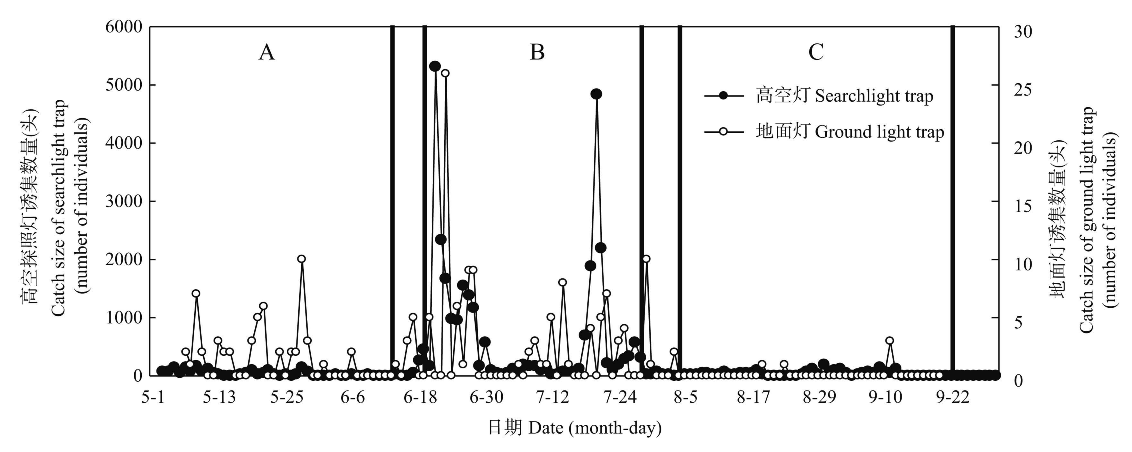


图 1　2012 年北京延庆姊妹灯诱集二点委夜蛾成虫的数量及世代划分

Fig. 1　The nightly catch sizes of adult *Proxenus lepigone* in sister-light-trap in Yanqing, Beijing in 2012 and the division of the related generations

A：越冬代成虫 Overwintering adult；B：第 1 代成虫 1st generation adult；C：第 2 代成虫 2nd generation adult. 两代之间为两世代的重叠区；下同。Catch sizes between two generations were defined as overlap of the two generations. The same for the following figures.

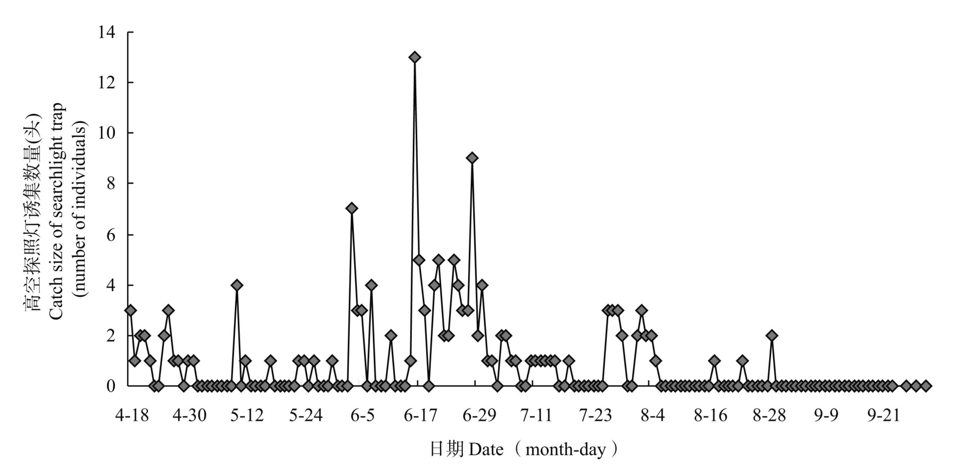


图 2　2012 年北京北郊高空探照灯诱虫器逐日诱集二点委夜蛾成虫的数量

Fig. 2　The nightly catch sizes of adult *Proxenus lepigone* in searchlight trap in north urban of Beijing in 2012

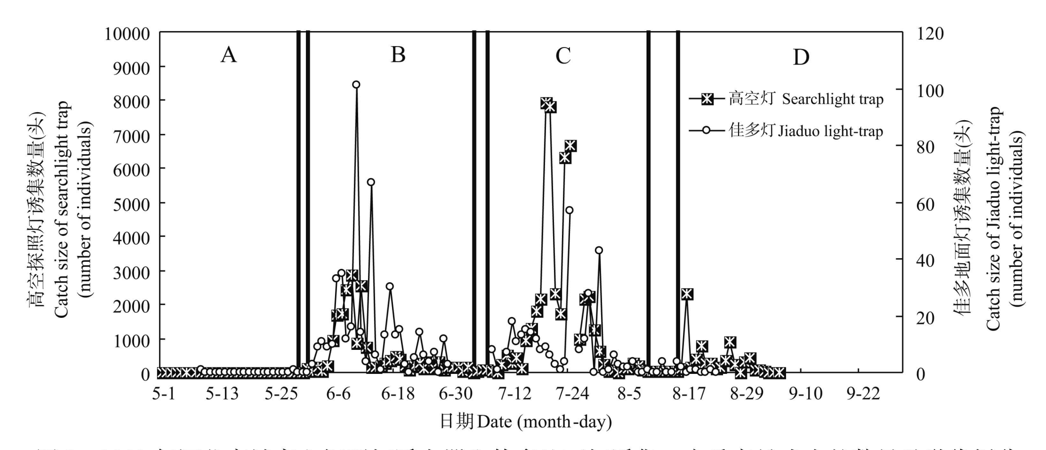


图 3　2012 年河北栾城高空探照灯诱虫器和佳多地面灯诱集二点委夜蛾成虫的数量及世代划分

Fig. 3　The nightly catch sizes of adult *Proxenus lepigone* in searchlight trap and Jiaduo light-trap in Luancheng Hebei province in 2012 and related generation divisions

A：越冬代成虫 Overwintering adult；B：第 1 代成虫 1st generation adult；C：第 2 代成虫 2nd generation adult；D：第 3 代成虫 3rd generation adult.

面灯诱集数量的波动与高空灯一致，也存在明显的诱虫高峰，且高峰期比高空探照灯早 1～2 d(图 3)。

2.2 越冬可能性与成虫羽化时间推断

2011－2012 年冬季，北京延庆县和北京市区的最低气温分别为－17.2℃(2012 年 1 月 25 日)和－13.3℃(2012 年 1 月 23 日)，最低气温均高于作茧老熟幼虫的过冷却点(－25.35℃)，但低于低温处理后老熟幼虫的过冷却点(－8.36℃)。

2012 年，越冬二点委夜蛾开始发育后，北京延庆和北京市区的有效积温超过二点委夜蛾蛹发育所需有效积温(134.00 日·度)的日期分别是 4 月 27 日(138.93 日·度)和 4 月 16 日(137.18 日·度)。北京北郊监测点和北京延庆开始监测的时间分别为 4 月 18 日和 5 月 3 日，2 个监测点实际有效积温都已满足越冬代的羽化需求。监测开始当天，北郊监测点诱捕到 3 头二点委夜蛾雌成虫，北京延庆诱捕到 68 头成虫(♀∶♂ ＝25∶43)。

2.3 种群世代划分及正态分布检验

北京延庆从理论羽化日(4 月 27 日)至 9 月 27 日(最低温度低于全世代的发育起点温度 10.04℃)的有效积温为 1 745.16 日·度，理论上全年可见 4 代成虫(包括越冬代)。假定 4 月 27 日羽化出的成虫于 5 月 1 日产卵，根据有效积温，6 月 21 日(有效积温达 558.38 日·度)才能羽化出第 1 代成虫，6 月 21 日之前诱集到的成虫理论上都是越冬代成虫。7 月 1 日(6 月 20 日羽化后 10 d)至 8 月 7 日，有效积温达 557.78 日·度，理论上 6 月 22 日至 8 月 7 日诱集的成虫为第 1 代成虫。由于 6 月 22 日羽化成虫的后代，可在 8 月 4 日羽化出下一代成虫，因此，8 月 4 日至 7 日为世代重叠区。8 月 9 日(第 1 代成虫羽化后 5 d)至 9 月 27 日，有效积温仅为 491.9 日·度，不满足 1 个世代的发育要求，8 月 7 日以后诱集的成虫均为第 2 代成虫。根据有效积温推算，北京延庆全年仅见 3 代成虫(图 1)。第 1 代成虫的日平均诱集数量最高，极显著高于越冬代($t = 3.64$, $df = 37.11$, $P = 0.001 < 0.01$)，也极显著高于第 2 代($t = 3.65$, $df = 37.07$, $P = 0.001 < 0.01$)。正态性检验表明，诱捕越冬代的数量接近正态分布，第 1 代成虫数量不符合正态分布，第 2 代成虫数量属于正态分布(表 1)。

表 1 2012 年北京延庆灯诱各代二点委夜蛾成虫的正态性检验

Table 1 Normal distribution test on catch sizes of *Proxenus lepigone* adults in searchlight traps for each generation in Yanqing, Beijing in 2012

世代 Generation	持续时间(d) Period of a generation	日平均诱捕数量 Average catch size per day (Mean ± *SE*)	检验结果 Test results
越冬代 Overwintering generation	41	42.07 ± 7.46	$Z = 1.34$ $P = 0.06$
第 1 代 1st generation	38	762.13 ± 197.59	$Z = 1.68$ $P = 0.01$
第 2 代 2nd generation	48	41.23 ± 6.29	$Z = 1.17$ $P = 0.13$

河北栾城从理论羽化日(4 月 12 日)至 9 月 30 日，总有效积温为 2 461.72 日·度，理论上二点委夜蛾可见 5 代成虫。根据有效积温推算，仅见 4 代。6 月 1 日至 7 月 3 日，属第 1 代成虫。7 月 8 日至 8 月 8 日，属第 2 代成虫。8 月 16 日以后，属第 3 代成虫。由于该监测点的结束时间较早，未获得完整的第 4 代成虫数据。第 1 代日平均诱集数量极显著高于越冬代($t = 4.19$, $df = 32.00$, $P < 0.01$)。第 2 代日平均诱集数量最高，既显著高于第 1 代($t = 2.31$, $df = 36.17$, $P = 0.03 < 0.05$)，也极显著高于第 3 代($t = 2.88$, $df = 34.19$, $P = 0.007 < 0.01$)(图 3)。

北京延庆越冬代的日平均诱集数量(42.07 ± 7.46)极显著高于河北栾城(0.63 ± 0.33)($t = 5.55$, $df = 40.15$, $P < 0.01$)。北京延庆第 1 代的日平均诱集数量(762.13 ± 197.59)也高于河北栾城(565.12 ± 134.65)，但两者之间的差异不显著($t = 0.799$, $df = 69$, $P = 0.43$)。

2.4　诱集数量与风场的关系

在越冬代成虫期内，既存在有利于成虫向北迁移的偏南气流，也存在不利于其北扩的偏北气流（图4：A）。两种气流条件下均可诱集到成虫，诱虫数量在气流方向变化时并未出现明显波动，但总体上是风向有利时，诱虫数量较多。在第 1 代成虫期内，第 1 个高峰期一直盛行偏南气流，成虫峰期持续时间与气流持续时间基本一致(图2：B)。第2个高峰期也存在偏南气流，且成虫峰期持续时间与气流持续时间也基本一致，7 月 22 日，气流方向发生逆转，诱虫数量也由前一天的约 2 200 头，下降到 205 头(图2：B)。

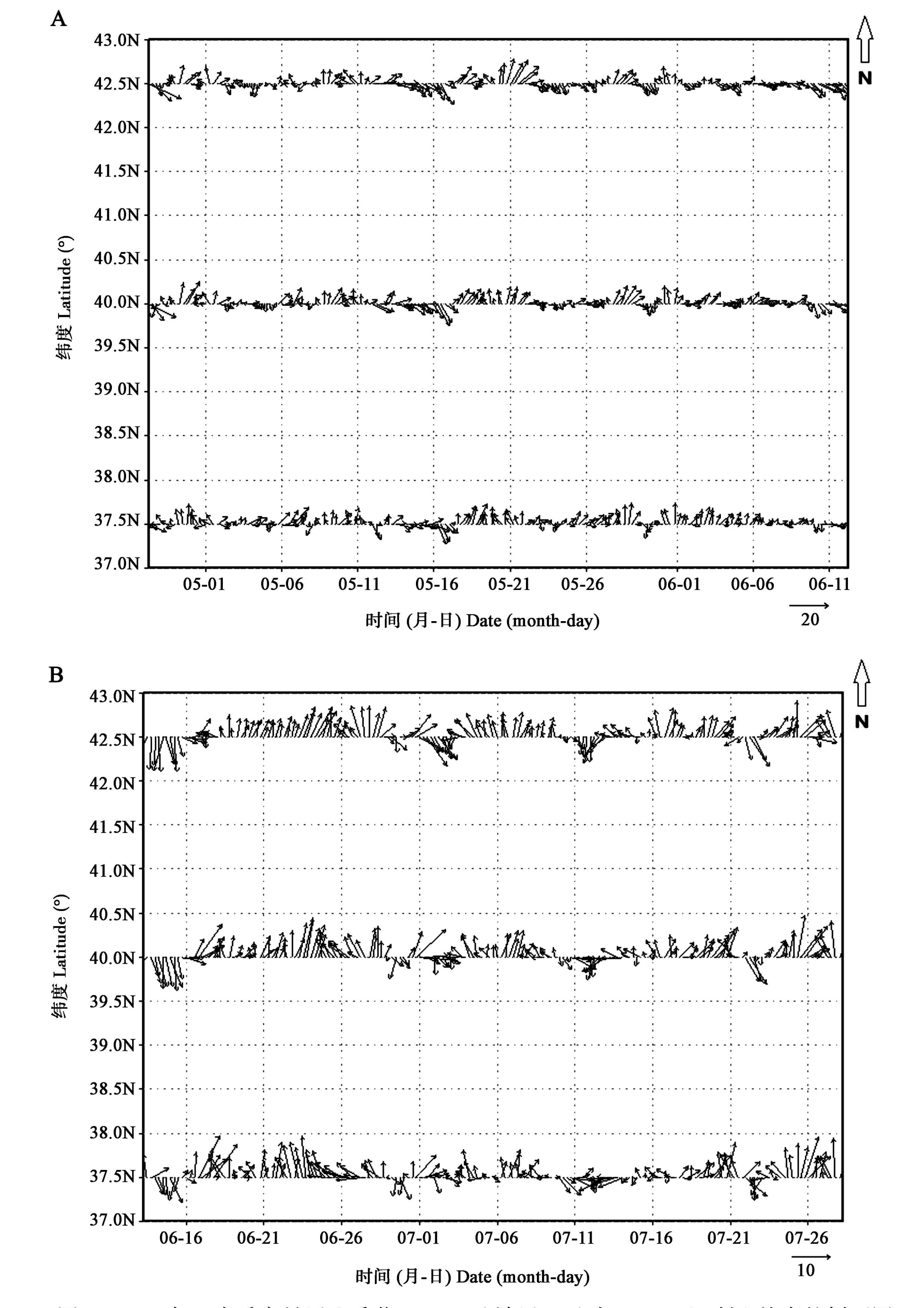


图4　2012 年二点委夜蛾迁飞季节 925 hPa 风场(m/s)在 115°E 上时间-纬度的剖面图

Fig. 4　Time-latitude cross section of wind field (m/s) along 115°E at 925 hPa during the migratory season of *Proxenus lepigone* in 2012

A：4 月 27 日至 6 月 12 日 From 27th April to 12th June；B：6 月 13 日至 7 月 27 日 From 13th June to 27th July.

2.5 垂直监测昆虫雷达的回波分析

监测期间，在高空探照灯诱虫器内二点委夜蛾成虫数量占绝对优势的夜晚非常少，加之 2012 年降水天数相对较多，因此，可供研究二点委夜蛾的昆虫雷达回波较少。6 月 20 – 21 日的夜晚，天气为多云，雷达回波可用于分析昆虫的迁飞行为。当晚诱集二点委夜蛾的数量约占诱集总量的 55%，23:00 – 00:00，有一个明显的峰值，1 h 内的诱集数量达 2 400 头(图 5)。对 500 m 以下的雷达回波进行统计表明，日落后回波数量呈间歇性上升，在 22:30 达当晚的最高值，随后 23:00 – 00:20 的时段内又形成了一个略小的峰值(图 6)。观察当晚的诱虫节律，22:00 – 23:00 时段内，只有小地老虎的数量呈上升趋势(图 5)。23:00 – 00:00 时段内，数量呈上升趋势的只有二点委夜蛾，23:00 – 00:20 时段内雷达回波的目标可能是二点委夜蛾。

2.6 轨迹分析及周边地区虫情

北京延庆监测点 6 月下旬的轨迹分析表明，虫源可来自北京通州、河北廊坊香河县、天津等地(图 7：A)。7 月下旬的轨迹模拟表明，虫源可能来自河北廊坊、沧州等地(图 7：B)。

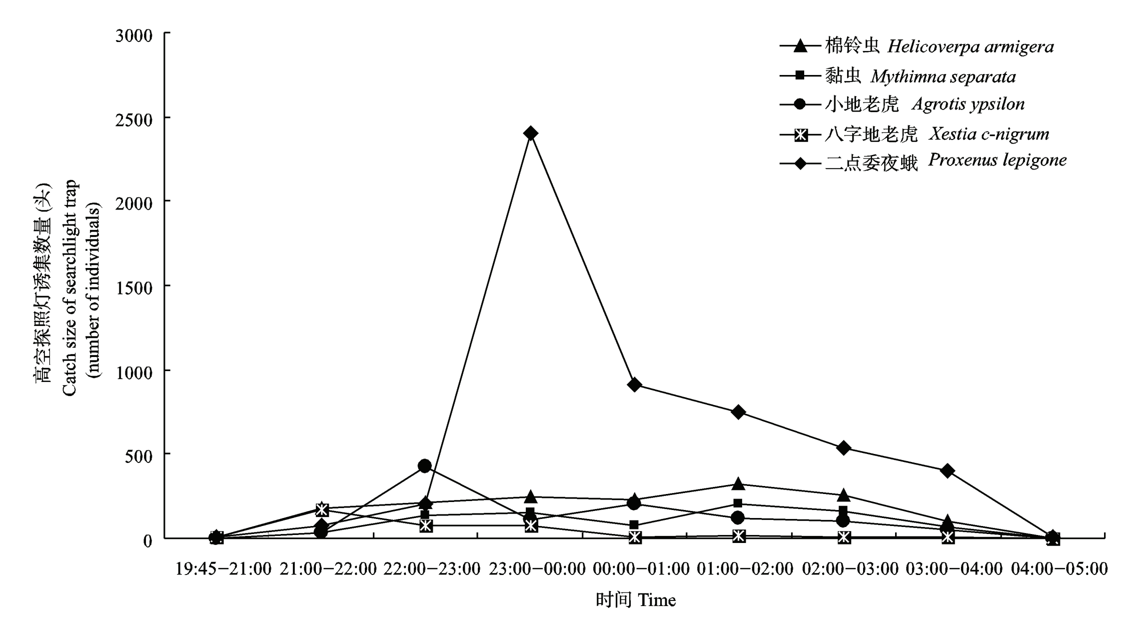


图 5 6 月 20 – 21 日夜晚高空探照灯诱虫器内几个优势种的整夜变化规律

Fig. 5 Nocturnal variations of catch size of several dominant species in searchlight trap on the night of 20 – 21, June

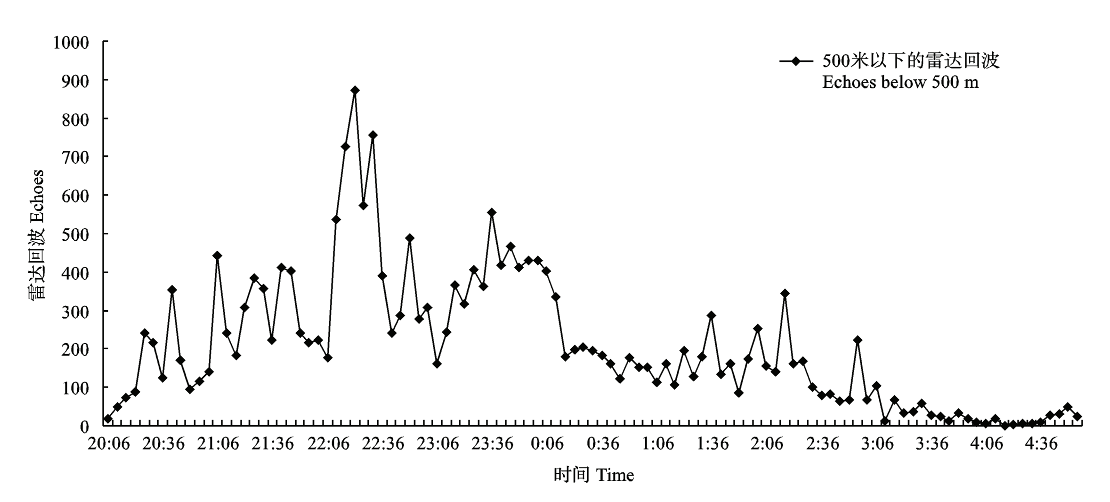


图 6 6 月 20 – 21 日夜晚垂直监测昆虫雷达的回波数量

Fig. 6 Echoes of vertical-looking insect monitoring radar on the night of 20 – 21, June

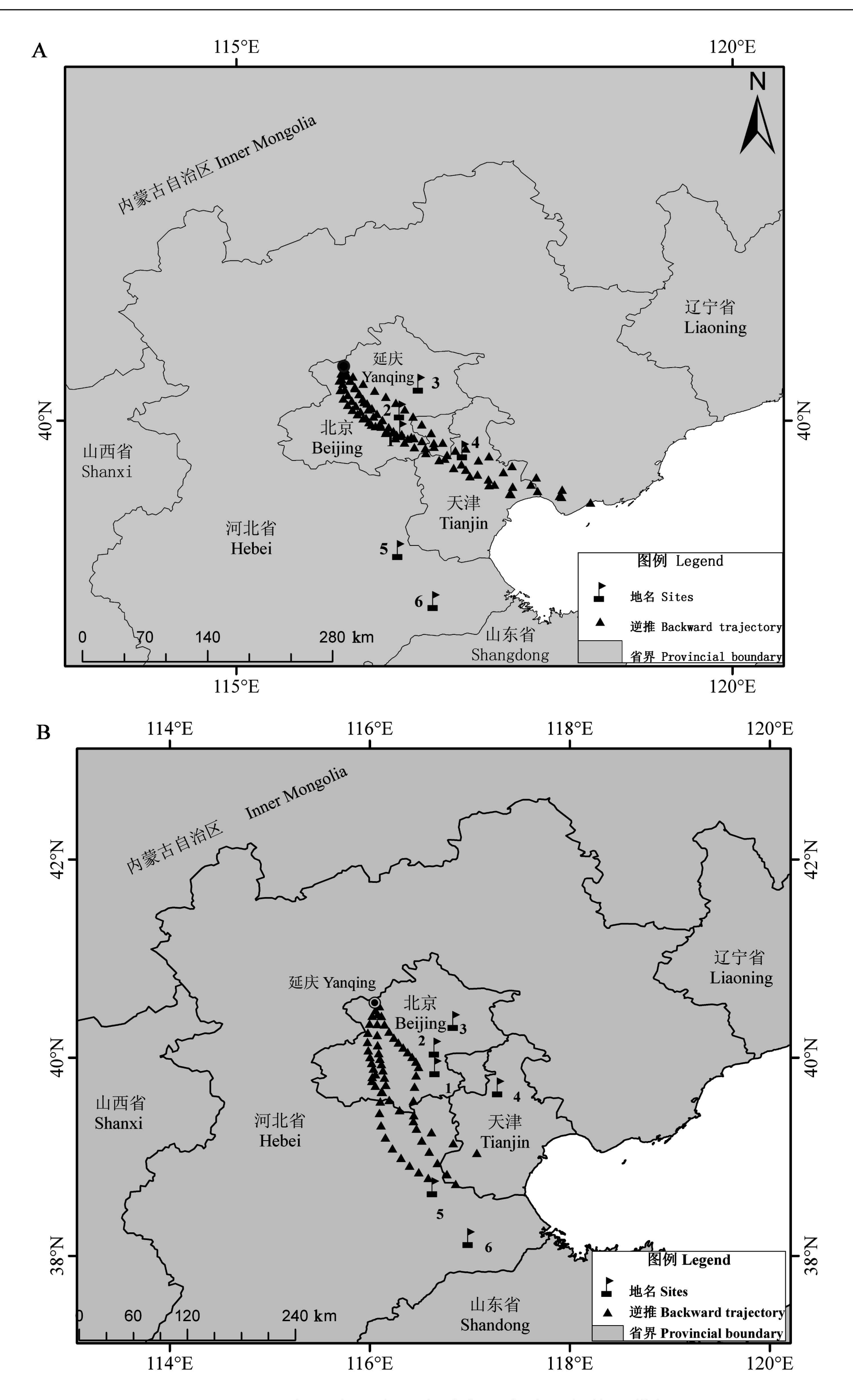


图 7　2012 年北京延庆二点委夜蛾高峰日的轨迹模拟

Fig. 7　The simulated trajectory of *Proxenus lepigone* during peak periods in Yanqing, Beijing in 2012

A：6 月份高峰期 Peak in June；B：7 月份高峰期 Peak in July. 图中编码数字表示相关地点。Numbers in the map denote the related sites. 1：北京通州 Tongzhou, Beijing；2：北京顺义 Shunyi, Beijing；3：北京密云 Miyun, Beijing；4：天津宝坻 Baodi, Tianjin；5：河北大城 Dacheng, Hebei；6：河北沧县 Cangxian, Hebei.

从全国农技推广中心获取的二点委夜蛾成虫监测数据主要来自北京密云、顺义和通州，天津宝坻，河北沧县和大城等地。2012 年，北京密云只监测到一个小的峰期，时间是 6 月 10 日左右，比北京

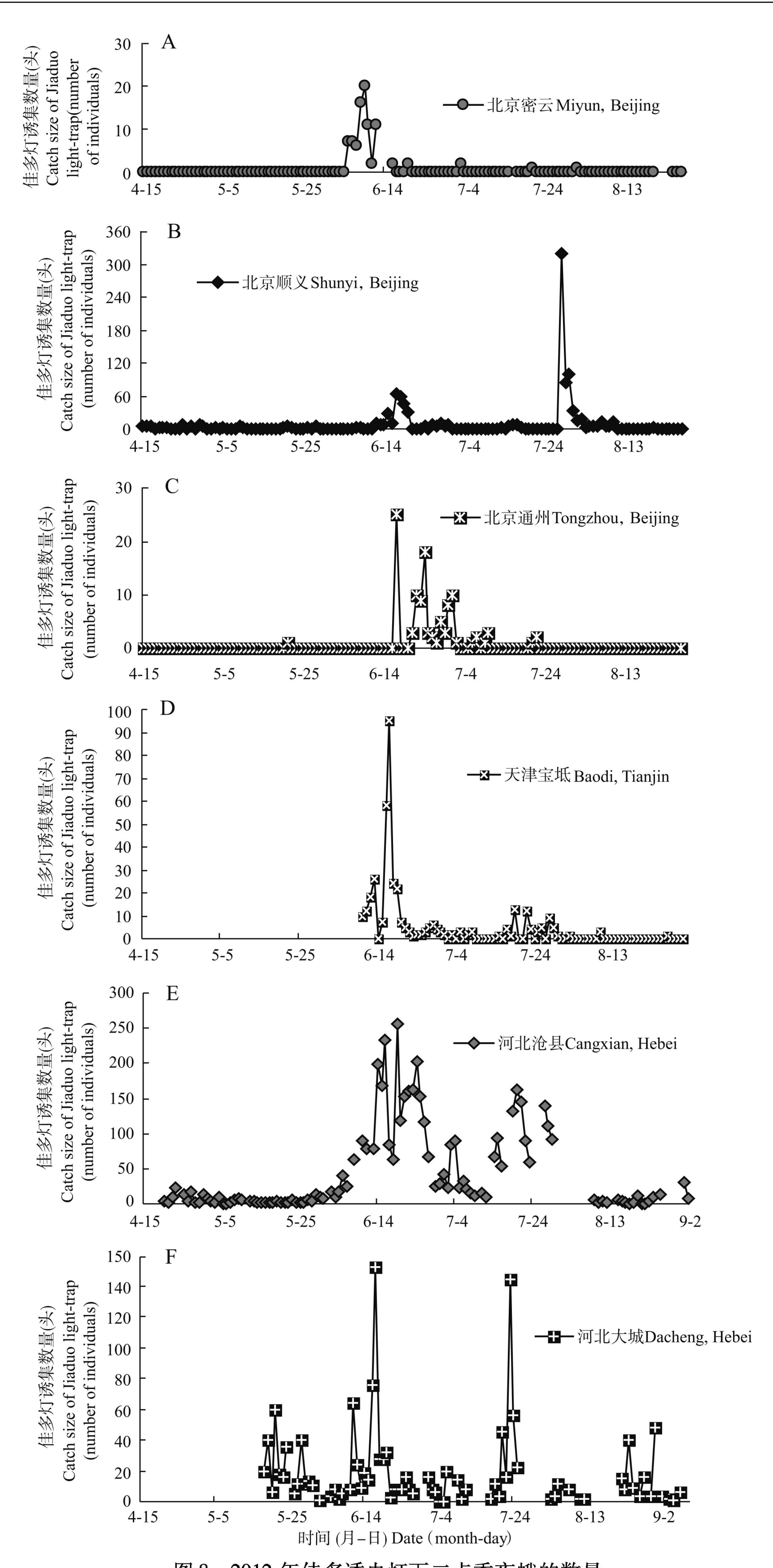


图 8 2012 年佳多诱虫灯下二点委夜蛾的数量

Fig. 8 Number of *Proxenus lepigone* moths trapped by Jiaduo light in 2012

A: 北京密云 Miyun, Beijing; B: 北京顺义 Shunyi, Beijing; C: 北京通州 Tongzhou, Beijing; D: 天津宝坻 Baodi, Tianjin; E: 河北沧县 Cangxian, Hebei; F: 河北大城 Dacheng, Hebei.

延庆的第 1 个峰期早约 10 d。北京顺义位于密云南部，理论上其高峰期应早于密云，但是监测结果表明，顺义的第 1 个峰期比密云晚约 7 d，比北京延庆早约 3 d，第 2 个峰期时间比延庆晚近 10 d。北京通州只监测到一个高峰期，由于数据存在缺失，只能看出其峰期时间和顺义基本相同。从 4 月中旬至 6 月初，北京地区除在顺义诱集到少量的成虫外，其余两地都没有诱集到二点委夜蛾成虫。天津宝坻第 1 个峰值出现的时间段与北京顺义和通州基本相同。河北沧县和大城的第一个高峰日也是 6 月 17 日前后，但是峰期的持续时间长于北方各点。此外，河北沧县和大城的高峰期出现的时间比河北栾城晚了约 7 d(图 3；图 8：E，F)。监测数据表明，北京延庆高峰时，除北京密云外，其余各点都出现了不同程度的峰期(图 8：B ~ F)。

3　讨论

害虫迁飞往往可导致其在不同地区间快速蔓延并暴发成灾。自二点委夜蛾在 2011 年全面暴发以来，关于其能否迁飞一直备受关注。二点委夜蛾具有迁飞性害虫的一些特点，如 7 月上旬成虫数量明显高于 6 月时，田间幼虫量却非常低（姜京宇等，2011d；李立涛等，2012）；飞行能力较强（江幸福等，2011a）；不同种群间的基因流水平较高（朱彦彬等，2012）等。但河北多地的监测并没有发现成虫数量的突增突减现象，河北省北部监测点也没有发现二点委夜蛾的大量迁入(姜京宇等，2011a；马继芳等，2012a)。王建勤等于 2011 年 8 – 9 月二点委夜蛾主害代羽化期内，使用性诱剂在河北易县不同海拔地区诱集监测，结果也未发现二点委夜蛾向高海拔冷凉地区迁移(王建勤等，2011)。北京以北等冷凉地区不具备二点委夜蛾大面积暴发危害的生态环境，但考虑到其幼虫食性杂，二点委夜蛾有向北部扩散的可能性（马继芳等，2011b）。

北京延庆位于北京北部，平均海拔约 500 m，气候冬冷夏凉，年平均气温为 8℃，距离已知的二点委夜蛾发生危害区(北京平谷)约 90 km(直线距离)。截至 2012 年 5 月，尚未有二点委夜蛾发生危害的相关报道。2012 年，北京延庆累积诱集 33 951 头，越冬代和第 1 代成虫的日平均诱集数量均高于河北栾城(图 1 和 3)。这些成虫是本地繁殖还是外地迁入，需要综合分析进行判定。

3.1　越冬代成虫虫源

2011 – 2012 年冬季，北京延庆的最低温度高于二点委夜蛾作茧老熟幼虫的过冷却点，作茧老熟幼虫可在北京延庆越冬。实际监测过程中，北京延庆和北京北郊的高空探照灯诱虫器诱到成虫的时间与根据有效积温推断的羽化时间相吻合，诱虫数量符合正态分布，都间接说明二点委夜蛾可在北京延庆越冬。越冬代成虫期，当空中偏南气流与偏北气流交替出现时，高空探照灯诱虫器均可诱到二点委夜蛾成虫。诱虫数量与风场的关系表明，二点委夜蛾在本地越冬的可能性很大。此外，二点委夜蛾还分布于纬度更高的国家如蒙古和俄罗斯等（江幸福等，2011a），北京延庆与这些国家相比，地理位置偏南，气象条件应可以满足二点委夜蛾越冬需求。综合以上几方面证据，我们认为二点委夜蛾可以在北京延庆地区越冬。

对比北京延庆和河北栾城的诱虫数据可以发现，北京延庆越冬代的日均诱集数量极显著高于河北栾城(图 1 和 3)。调查表明，二点委夜蛾多在土表越冬，且场所复杂，地面覆盖物厚度对越冬存活率影响很大(石洁等，2011；张海剑等，2012)。北京延庆春玉米田冬前旋耕，翌年春季播种前，会再次旋耕平整土地。土地旋耕掩埋了秸秆等覆盖物，对虫体也有一定损伤，不利于二点委夜蛾越冬。在此情况下，越冬代的数量却极显著高于河北，其原因可能是北京延庆诱集的越冬代成虫，除包含本地羽化个体之外，还可能包含从南部地区迁入的当地第 1 代成虫，对此需要进一步研究证实。

3.2　二点委夜蛾的化性

已有的研究表明，在河北中南部，二点委夜蛾一年发生 4 代，第 2 代成虫数量最多（姜京宇等，2011b；李智慧等，2013）。我们根据当地的有效积温对野外诱集成虫进行的世代划分结果与前人研究结果类似，河北栾城所诱成虫可划分为 4 代，每一代持续时间、不同世代的数量变化等与前人研究结果也基本相同(图 3)(姜京宇等，2011b；李智慧等，2013)。基于同样的方法，北京延庆诱集的成虫可划分为 3 代，第 1 代成虫数量最多。由于本次监测只涉及成虫，幼虫在田间的实际发生情况有待于今后进一步调查。

3.3　北京延庆第 1 代成虫的虫源性质

上述综合分析表明二点委夜蛾可在北京延庆越冬，但第 1 代成虫仍具有迁飞昆虫的特点。首先，使用姊妹灯时，高空探照灯诱虫器诱集二点委夜蛾

的数量大于地面灯的夜晚占 95.65%，其余的夜晚，地面灯诱集数量高于或等于高空探照灯，但诱集数量仅有几头。两种诱虫器诱集数量之间的差异符合对迁飞种类的判断标准(程登发等，2005)。地面灯高峰期比高空探照灯晚了 2 d，这个现象也符合迁飞种类的特点。其次，北京延庆不利于二点委夜蛾繁殖。二点委夜蛾倾向于将卵产在麦秆上，夏玉米田中麦秸和麦糠较多的地方虫量大，受害重，麦秸和麦糠少的地方，很难发现幼虫(江幸福等，2011a；李立涛等，2011)。小麦秸秆还田连续开展多年以后，致使虫量累积，被认为是二点委夜蛾全面暴发的原因之一(单绪南等，2011；江幸福等，2011a；王振营等，2012)。北京延庆一年一熟，粮食作物以春玉米为主，小麦种植面积几乎为零，不存在小麦玉米轮作倒茬的种植制度。虽然越冬代成虫产卵时期与春玉米的幼苗期吻合，但是当地缺少供其产卵和幼虫隐蔽的条件，这些都不利于其在当地的发生。监测数据表明，北京延庆二点委夜蛾第 1 代成虫的数量却高于发生条件相对适宜的河北栾城地区(图 1，3)，这其中的原因可能是迁飞或扩散导致的。第三，诱虫数量与空中气流存在密切关系。风场分析与种群监测表明，每次二点委夜蛾的诱蛾高峰期，都伴随着稳定的偏南气流。当风向偏转时，种群数量会有较大的波动，例如 7 月 22 日，气流方向由偏南转为偏北，诱虫数量也由前 1 d 的约 2 200 头，下降至 205 头(图 4)。第四，雷达监测表明，二点委夜蛾是雷达回波的目标。第五，虫源地的峰期与北京延庆的诱虫高峰相吻合(图 1 和图 8)。多地监测数据表明，在北京延庆出现二点委夜蛾的高峰期间，北京顺义、通州，天津宝坻，河北沧州等地出现了峰值。上述证据表明，二点委夜蛾可能是一种兼性迁飞昆虫，在河北等出现高温等不利于其繁殖的情况下，可能顺气流向北迁移，在北部冷凉地区越夏繁殖。

本文通过对监测结果、诱蛾数量与风场的关系、雷达回波识别、轨迹模拟与验证等方面的综合分析，认为二点委夜蛾虽然能在北京延庆越冬，但是第 1 代成虫仍然存在从周边迁入的可能性。由于依据的数据只有 1 年，目前还不能得到确切的结论。明确二点委夜蛾能否远距离迁飞，会促进对其发生规律的认知，提升其预测预报和综合防治水平。今后，要结合空中网捕、雷达监测和幼虫虫情调查等，对二点委夜蛾在北京延庆的发生规律进行深入研究。

致谢 二点委夜蛾成虫鉴定时，得到了中国农业科学院植物保护研究迁飞害虫组姚瑞同学的帮助。野外监测工作中，河南农业大学植物保护学院 2008 级本科生高苗、江珊珊、陈青召、李佳佳、侯泽海、牛亚娟，2009 级本科生李鹏华、王雷、马锐娟和山东农业大学植物保护学院 2009 级本科生郝宪磊、韩叶娟等同学提供了诸多帮助与支持。在此一并致谢。

参考文献(References)

Chai TH, Mei CB, Zhai H, Huo LQ, Guo LW, Liu KS, Liang JH, Ma JF, 2012. Chemical control methods of *Athetis lepigone*. *Plant Protection*, 38(2): 167 – 170. [柴同海，梅成彬，翟晖，霍立强，郭丽伟，刘奎胜，梁建辉，马继芳，2012. 二点委夜蛾化学防治方法研究. 植物保护，38(2): 167 – 170]

Cheng DF, Feng HQ, Wu KM, 2005. Scanning Entomological Radar and Its Monitoring on Insect Migration. Science Press, Beijing. [程登发，封洪强，吴孔明，2005. 扫描昆虫雷达与昆虫迁飞监测. 北京：科学出版社]

Dang ZH, Li YF, Pan WL, Li YY, Gao ZL, 2011. Developmental threshold temperature and effective accumulative temperature of *Athetis lepigone* Moschler. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 15(10): 4 – 6. [党志红，李耀发，潘文亮，李妍妍，高占林，2011. 二点委夜蛾发育起点温度及有效积温的研究. 河北农业科学，15(10): 4 – 6]

Drake VA, Farrow RA, 1983. The nocturnal migration of the Australian plague locust, *Chortoicetes terminifera* (Walker) (Orthoptera: Acrididae): quantitative radar observations of a series of northward flights. *Bulletin of Entomological Research*, 73(04): 567 – 585.

Drake VA, Farrow RA, 1988. The influence of atmospheric structure and motions on insect migration. *Annual Review of Entomology*, 33(1): 183 – 210.

Drake VA, Gatehouse AG, 1995. Insect Migration: Tracking Resources through Space and Time. Cambridge University Press, Cambridge.

Feng HQ, Wu KM, Ni YX, Cheng DF, Guo YY, 2005. High-altitude windborne transport of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in mid-summer in northern China. *Journal of Insect Behavior*, 18(3): 335 – 349.

Jiang JY, Li XQ, Li SP, Xu YH, Hao YT, Wang YB, Li ZH, Zhou F, 2011a. Study on overwintering regularity of *Proxenus lepigone*. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 15(11): 12 – 13. [姜京宇，李秀芹，李素平，许佑辉，郝延堂，王永波，李智慧，周芳，2011a. 二点委夜蛾越冬规律研究. 河北农业科学，15(11): 12 – 13]

Jiang JY, Li XQ, Liu L, Hao YT, Xu YH, 2011b. Study on occurrence regularity of *Athetic lepigone* in Hebei province. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 15(10): 1 – 3. [姜京宇，李秀芹，刘莉，郝延堂，许佑辉，2011b. 河北省二点委夜蛾的发生规律研究. 河北农业科学，15(10): 1 – 3]

Jiang JY, Li XQ, Liu L, Wang P, Hao YT, Xu H, Ma JF, Chai TH,

Xu YH, Liang JH, 2011c. A preliminary report on occurence and damages of of *Proxenus lepigone* in maize field in Hebei province. *Plant Protection*, 37(5): 213 - 214. [姜京宇，李秀芹，刘莉，王鹏，郝延堂，许昊，马继芳，柴同海，许佑辉，梁建辉，2011c. 河北省玉米田二点委夜蛾发生危害初报. 植物保护，37(5): 213 - 214]

Jiang JY, Li XQ, Liu L, Xu H, Zhang ZY, An LY, 2011d. A preliminary report on monitoring technology of *Athetis lepigone*. *Plant Protection*, 37(6): 141 - 143. [姜京宇，李秀芹，刘莉，许昊，张志英，安丽云，2011d. 二点委夜蛾的监测技术初报. 植物保护，37(6): 141 - 143]

Jiang JY, Xi JY, 2006. New dynamics of deseases and pest insects in agricultural crop in 2005 in Hebei province. *China Plant Protection*, 26(7): 45 - 47. [姜京宇，席建英，2006. 河北省 2005 年农作物病虫新动态概述. 中国植保导刊，26(7): 45 - 47]

Jiang XF, Luo LZ, Jiang YY, Zhang YJ, Zhang L, Wang ZY, 2011a. Damage characteristics and outbreak causes of *Athetis lepigone* in China. *Plant Protection*, 37(6): 130 - 133. [江幸福，罗礼智，姜玉英，张跃进，张蕾，王振营，2011. 二点委夜蛾发生为害特点及暴发原因初探. 植物保护，37(6): 130 - 133]

Jiang XF, Yao R, Lin ZF, Zhang L, Luo LZ, 2011b. Morphological and biological characteristics of *Athetis lepigone*. *Plant Protection*, 37(6): 134 - 137. [江幸福，姚瑞，林珠凤，张蕾，罗礼智，2011b. 二点委夜蛾形态特征及生物学特性. 植物保护，37(6): 134 - 137]

Jiang YY, Gong YF, Jiang JY, 2011. Preliminary study on monitoring technology of *Athetis lepigone*. *China Plant Protection*, 31(8): 37 - 38. [姜玉英，龚一飞，姜京宇，2011. 二点委夜蛾测报技术初探. 中国植保导刊，31(8): 37 - 38]

Li LT, Ma JF, Dong L, Xu YH, Chai TH, Dong JG, Jiang JY, Dong ZP, 2011. Morphology, damages and control of *Proxenus lepigone*. *China Plant Protection*, 31(8): 22 - 24. [李立涛，马继芳，董立，许佑辉，柴同海，董金皋，姜京宇，董志平，2011. 二点委夜蛾的形态，为害及防控. 中国植保导刊，31(8): 22 - 24]

Li LT, Wang YQ, Liu L, Gan YJ, Dong ZP, Ma JF, 2012. Grading criteria for assessing the ovarian development of *Athetis lepigone* and its use in forecasting. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 49(4): 1043 - 1047. [李立涛，王玉强，刘磊，甘耀进，董志平，马继芳，2012. 二点委夜蛾卵巢发育分级及在预测预报中的应用. 应用昆虫学报，49(4): 1043 - 1047]

Li ZH, Zhang ZY, Cao S, Chen Z, Dong C, Zhou F, Zhang XL, Zhang Y, Chen LT, Jiang JY, Li XQ, 2013. A preliminary report on life history of *Athetis lepigone* in Hebei Province. *Plant Protection*, 39(1): 148 - 150. [李智慧，张志英，曹烁，陈哲，董超，周芳，张小龙，张燕，陈立涛，姜京宇，李秀芹，2013. 河北省二点委夜蛾发生世代研究初报. 植物保护，39(1): 148 - 150]

Ma JF, Li LT, Wang YQ, Dong L, Gan YJ, Dong ZP, 2011a. Preliminary observations on the morphological characteristics of *Athelis lepigone*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(6): 1869 - 1873. [马继芳，李立涛，王玉强，董立，甘耀进，董志平，2011. 二点委夜蛾形态特征的初步观察. 应用昆虫学报，48(6): 1869 - 1873]

Ma JF, Wang XY, Li LT, Dong L, Gan YJ, Dong ZP, 2012. Occurrence regularity of *Proxenus lepigone* and related control technology. *China Plant Protection*, 32(5): 26 - 29. [马继芳，王新玉，李立涛，董立，甘耀进，董志平，2012. 二点委夜蛾的发生规律及其防治技术. 中国植保导刊，32(5): 26 - 29]

Ma JF, Wang YQ, Li LT, Liu L, Gan YJ, Dong ZP, 2011b. Study on supercooling points and overwintering stage of *Athetis lepigone*. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 15(9): 1 - 3. [马继芳，王玉强，李立涛，刘磊，甘耀进，董志平，2011b. 二点委夜蛾过冷却点测定及越冬虫态分析. 河北农业科学，15(9): 1 - 3]

Shan XN, Yang PY, Zhao ZH, Yan DL, Wang XY, 2011. Outbreak reasons of *Proxenus lepigone* in maize field in 2011 and the related control technology. *China Plant Protection*, 31(8): 20 - 22. [单绪南，杨普云，赵中华，闫德龙，王向阳，2011. 2011 年玉米田二点委夜蛾发生原因及防治对策. 中国植保导刊，31(8): 20 - 22]

Shi J, Wang ZY, Jiang YY, Shan XN, Zhang HJ, Wang J, Ge X, 2011. A preliminary report on investigation of the overwintering sites of *Athetis lepigone*. *Plant Protection*, 37(6): 138 - 140. [石洁，王振营，姜玉英，单旭南，张海剑，王静，戈星，2011. 二点委夜蛾越冬场所调查初报. 植物保护，37(6): 138 - 140]

Wang JQ, Liu XH, Zhang SP, 2011. Trapping tests to *Athetis lepigone* in high altitude area. *Journal of Hebei Agricultural Science*, 15(9): 9 - 10, 15. [王建勤，刘秀红，张树坡，2011. 高海拔地区二点委夜蛾诱测试验. 河北农业科学，15(9): 9 - 10, 15]

Wang ZY, Shi J, Dong JG, 2012. Reason analysis on *Proxenus lepigone* outbreak of summer corn region in the Yellow river, Huai and Hai rivers plain and the countermeasures suggested. *Journal of Maize Sciences*, 20(1): 132 - 134. [王振营，石洁，董金皋，2012. 2011 年黄淮海夏玉米区二点委夜蛾暴发危害的原因与防治对策. 玉米科学，20(1): 132 - 134]

Xiao YY, 1983. Introduction of method in calculating effective accumulative temperature based on maximum and minimum of daily temperature. *Plant Protection*, 5(2): 43 - 45. [肖悦岩，1983. 介绍一种计算有效积温的方法——根据日最高最低气温. 植物保护，5(2): 43 - 45]

Zhang HJ, Shi J, Wang ZY, Qin YY, 2012. A preliminary investigation of the overwintering developmental stage of *Athetis lepigone* and the spacial distribution in overwintering sites. *Plant Protection*, 38(3): 146 - 150. [张海剑，石洁，王振营，秦艳宇，2012. 二点委夜蛾越冬虫态及其在越冬场所的空间分布调查初报. 植物保护，38(3): 146 - 150]

Zhang YH, Chen L, Cheng DF, Zhang YJ, Jiang YY, Jiang JW, 2007a. Radar observation and population analysis on the migration of the clover cutworm, *Scotogramma trifolii* Rottemberg (Lepidoptera: Pyralidae). *Acta Entomologica Sinica*, 50(5): 494 - 500. [张云慧，陈林，程登发，张跃进，姜玉英，蒋金炜，2007a. 旋幽夜蛾迁飞的雷达观测和虫源分析. 昆虫学报，50(5): 494 - 500]

Zhang YH, Cheng DF, Jiang YY, Zhang YJ, Sun JR, 2010. Analysis on the population status of the overwintering generation of the clover cutworm *Scotogramma trifolii* (Lepidoptera: Noctuidae) in Beijing.

Scientia Agricultura Sinica, 43(9): 1815–1822. [张云慧, 程登发, 姜玉英, 张跃进, 孙京瑞, 2010. 北京地区越冬代旋幽夜蛾迁飞的虫源分析. 中国农业科学, 43(9): 1815–1822]

Zhang YH, Qiao HB, Cheng DF, Sun JR, 2007b. Primary application of vertical-looking radar to tracking high-flying insects in China. *Plant Protection*, 33(3): 23–26. [张云慧, 乔红波, 程登发, 孙京瑞, 2007b. 垂直监测昆虫雷达空中昆虫监测的初步应用. 植物保护, 33(3): 23–26]

Zhu YB, Ma JF, Dong L, Li LT, Jiang JY, Li ZH, Dong ZP, Dong JG, Wang QY, 2012. Analysis of genetic polymorphism of *Athetis lepigone* (Lepidoptera: Noctuidae) populations from China based on mtDNA COⅠ gene sequences. *Acta Entomologica Sinica*, 55(4): 457–465. [朱彦彬, 马继芳, 董立, 李立涛, 姜京宇, 李智慧, 董志平, 董金皋, 王勤英, 2012. 基于线粒体 COⅠ基因序列的中国二点委夜蛾遗传多态性分析. 昆虫学报, 55(4): 457–465]

(责任编辑: 袁德成)